

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-252393

(43)Date of publication of application : 06.09.2002

(51)Int.Cl.

H01L 43/08

G01R 33/09

G11B 5/39

(21)Application number : 2001-046486

(71)Applicant : YAMAHA CORP

(22)Date of filing : 22.02.2001

(72)Inventor : SATO HIDEKI  
NORO MASAO

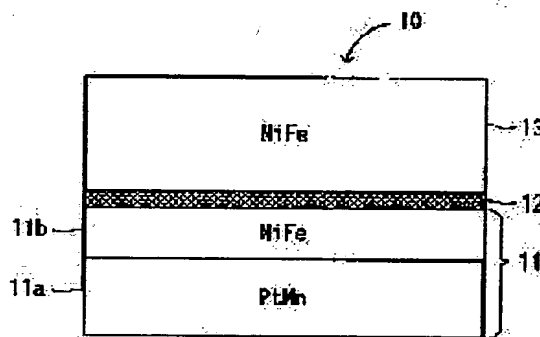
## (54) MAGNETIC SENSOR

## (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a magnetic sensor that can detect a magnetic field with high accuracy, even when the characteristics of a magnetic tunnel effect element change due to a temperature change or a change in the lapse of time.

**SOLUTION:** The magnetic tunnel effect element 10 used in this magnetic sensor has a sensing layer 11 formed into a laminate composed of a PtMn antiferromagnetic film 11a and an NiFe ferromagnetic film 11b, a thin Al-O insulating layer 12, and an NiFe reference layer 13.

These layers 11, 12, and 13 constitute a magnetic tunnel junction structure. The ferromagnetic film 11a, insulating layer 12, and ferromagnetic film 13 have rectangular shapes, and the magnetization of the ferromagnetic film 11a is weakly pinned in the direction of its shorter edges. Consequently, the resistance of the element 10 changes functionally even with respect to the magnetic field that changes in the direction of the longer edges. By imparting an AC bias magnetic field in the direction of the longer edges, an applied magnetic field  $h$  is detected based on the occurring resistance change of the element 10.



11: センス層  
12: 絶縁層  
13: 参照層

## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

22.07.2004

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision]

BEST AVAILABLE COPY

of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2002-252393  
(P2002-252393A)

(43) 公開日 平成14年9月6日 (2002.9.6)

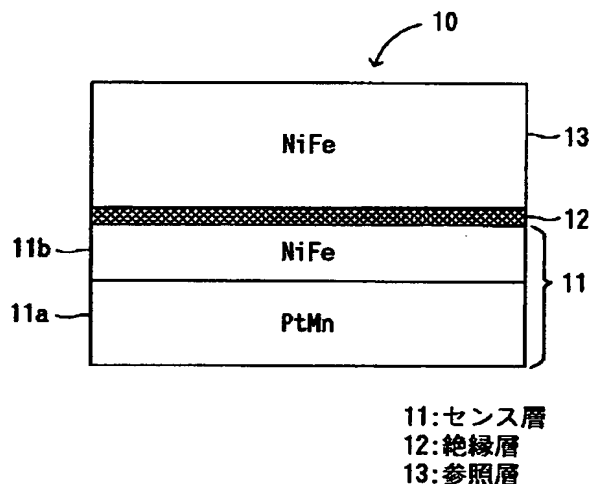
(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テーマコード <sup>*</sup> (参考)
H 0 1 L 43/08		H 0 1 L 43/08	Z 2 G 0 1 7 B 5 D 0 3 4
G 0 1 R 33/09		G 1 1 B 5/39	
G 1 1 B 5/39		G 0 1 R 33/06	R
審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 11 頁)			
(21) 出願番号	特願2001-46486 (P2001-46486)	(71) 出願人	000004075 ヤマハ株式会社 静岡県浜松市中沢町10番1号
(22) 出願日	平成13年2月22日 (2001.2.22)	(72) 発明者	佐藤 秀樹 静岡県浜松市中沢町10番1号 ヤマハ株式 会社内
		(72) 発明者	野呂 正夫 静岡県浜松市中沢町10番1号 ヤマハ株式 会社内
		(74) 代理人	100088971 弁理士 大庭 咲夫 (外1名)
		Fターム (参考)	2G017 AA10 AC09 AD55 BA03 5D034 BA03 BA05 CA08

(54) 【発明の名称】 磁気センサ

(57) 【要約】

【課題】 温度変化や経時変化により磁気トンネル効果素子の特性が変化した場合でも、精度良く磁界を検出し得る磁気センサを提供すること。

【解決手段】 この磁気センサに用いられる磁気トンネル効果素子10は、PtMnからなる反強磁性膜11aとNiFeからなる強磁性膜11bの積層体として構成されたセンス層11、Al-Oから構成された薄膜の絶縁層12、及びNiFeから構成された参照層13を有し、これらの層は、磁気トンネル接合構造を形成している。強磁性膜11a、絶縁層12、及び強磁性膜13は長方形状を有し、強磁性膜11aの磁化は短辺方向に弱くピンされている。この結果、同素子の抵抗は長辺方向において変化する磁場に対して偶関数的に変化する。そして、前記長辺方向に交流バイアス磁界を付与し、そのときの磁気トンネル効果素子10の抵抗変化に基づいて加わる磁場hを検出する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】ビンド層とフリー層とを含み同ビンド層の磁化の向きと同フリー層の磁化の向きがなす相対角度に応じて抵抗値が変化するトンネル磁気抵抗効果素子を備えた磁気センサにおいて、

前記抵抗値が所定方向内で変化する外部磁場に対して偶関数的に変化するように構成された磁気センサ。

【請求項2】請求項1に記載の磁気センサにおいて、前記外部磁場の变化方向における前記ビンド層の磁化が同外部磁場の变化に対して徐々に変化し、前記外部磁場の变化方向における前記フリー層の磁化が同外部磁場の变化に対してステップ状に変化するように構成された磁気センサ。

【請求項3】請求項1又は請求項2に記載の磁気センサにおいて、前記ビンド層のピンされた磁化の向きと直交する方向にバイアス磁界が付与されるように構成された磁気センサ。

【請求項4】請求項3に記載の磁気センサにおいて、前記フリー層は長軸及び短軸を有する形状を有するとともに、前記ビンド層のピンされた磁化の向きと直交する方向に前記長軸の方向が一致されてなる磁気センサ。

【請求項5】請求項3又は請求項4に記載の磁気センサにおいて、前記ビンド層の磁化の向きが前記バイアス磁界に応じて徐々に変化するように構成された磁気センサ。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、磁気トンネル効果素子（TMR素子）を利用した磁気センサに係り、特に、経時変化及び温度変化等による出力特性変化の補償を行い得る磁気センサに関する。

## 【0002】

【従来の技術】従来から、磁気センサに利用し得る素子として、磁気抵抗変化率（MR比）が大きく感度が良好な磁気トンネル効果素子が知られている。一般に、磁気トンネル効果素子は、磁化の向きが所定の向きにピン（固定）されたビンド層と磁化の向きが外部磁界に応じて変化するフリー層とを備えていて、ビンド層の磁化の向きとフリー層の磁化の向きとがなす相対角度に応じた抵抗値を呈する。

## 【0003】

【発明が解決しようとする課題】上記磁気トンネル効果素子は、その感度が良好ではあるとはいえ、例えば、外部磁界が $-10$ （Oe） $\sim +10$ （Oe）の範囲で変化する場合、その抵抗の最大値 $R_{max}$ と最小値 $R_{min}$ との差を $\Delta R$ 、外部磁界が「0」のときの抵抗値を $R_0$ とすると、抵抗変化率（ $\Delta R/R_0$ ）は20%程度である。即ち、1（Oe）あたりの抵抗変化率は1%ということになる。

【0004】一方、地磁気による磁場の強さは約0.3（Oe）程度であるから、このような微小な磁場を検出しようとするとき、磁気センサは0.01（Oe）程度の分解能を有する必要がある。この場合、上記例示した磁気センサにあっては、抵抗変化率に換算して0.01%という微小な変化を検出することになる。

【0005】しかしながら、磁気トンネル効果素子は、経時変化や素子温度の変化等によりその抵抗値（出力特性）が変化するから、何らの対策を講じることなしに上記のような高精度の要求を満たすことは困難である。本発明の目的の一つは、磁気トンネル効果素子を利用した磁気センサであって、出力特性をその場で（磁場検出時に）校正することができ、微小磁場を精度良く検出し得る磁気センサを提供することにある。

## 【0006】

【本発明の概要】本発明の特徴は、ビンド層とフリー層とを含み同ビンド層の磁化の向きと同フリー層の磁化の向きがなす相対角度に応じて抵抗値が変化するトンネル磁気抵抗効果素子を備えた磁気センサにおいて、前記抵抗値が所定方向内で変化する外部磁場に対して偶関数的に変化するように構成されたことにある。

【0007】この場合、前記外部磁場の变化方向における前記ビンド層の磁化（の大きさ）が同外部磁場の变化に対して徐々に変化し、前記外部磁場の变化方向における前記フリー層の磁化（の大きさ）が同外部磁場の变化に対してステップ状に変化するように構成することで、前記抵抗値が前記外部磁場に対して偶関数的に変化するように構成された磁気センサを得ることができる。

【0008】このような偶関数特性を有する磁気センサによれば、例えば、前記外部磁場の变化方向内において最大値 $H_a$ と最小値 $-H_a$ との間を所定の周期で直線的に変化（スイープ）する三角波状の交流バイアス磁界を付与することで、同交流バイアス磁界の变化方向における検出しようとする磁場 $h$ と、同交流バイアス磁界の大きさ $H_a$ のみに依存し、磁気センサ（磁気トンネル効果素子）の経時変化や温度変化による出力特性の変化に依存しない検出値 $D$ を得ることが可能となる。

【0009】この場合、上記検出値 $D$ は、例えば、磁気センサの抵抗 $R$ が所定の閾値 $T_h$ を上から下へ（又は下から上へ）横切った第1時点から次に同抵抗 $R$ が同閾値 $T_h$ を上から下へ（又は下から上へ）横切る第2時点までの時間を $a$ とし、同第2時点から更に同抵抗 $R$ が同閾値 $T_h$ を上から下へ（又は下から上へ）横切る第3時点までの時間を $b$ とすると、 $D = a / (a + b)$ 又は $D = b / (a + b)$ として得られる。

【0010】また、具体的には、上記偶関数特性を有する磁気センサは、前記ビンド層のピンされた磁化の向きと直交する方向に上述したバイアス磁界が付与されるように構成される。

【0011】この場合、前記フリー層が長軸及び短軸を

有する形状を有するとともに、前記ピン層のピンされた磁化の向きと直交する方向に前記長軸の方向が一致されるように構成されることが望ましい。

【0012】これによれば、フリー層の形状異方性により、前記外部磁場の変化方向における前記フリー層の磁化の大きさを同外部磁場に対してステップ状に変化させることができる。

【0013】また、この場合、前記ピン層の磁化の向きが前記バイアス磁界に応じて徐々に変化するように構成されることが望ましい。

【0014】これによれば、前記ピン層の磁化と前記フリー層の磁化とが協働し、抵抗値がバイアス磁界の変化方向における磁界に対して偶関数的に変化する磁気センサを得ることができる。

【0015】

【発明の実施の形態】以下、本発明による磁気トンネル効果素子を利用した磁気センサの実施形態について図面を参照しながら説明する。

【0016】（検出原理）まず、上記磁気センサの磁場検出の原理について説明する。図1に示したように、この磁気センサに用いられる磁気トンネル効果素子10は、PtMnからなる反強磁性膜11aとNiFeからなる強磁性膜11bの積層体として構成されたセンス層11、Al-Oから構成された薄膜の絶縁層12、及びNiFeから構成された参照層13を有している。これらの層は、磁気トンネル接合構造を形成していて、センス層11の強磁性膜11b、及び参照層13は、通常の磁気トンネル効果素子において、磁化がピンされたピン層、及び磁化が外部磁界に応じて変化するフリー層とそれぞれ称呼される層である。

【0017】センス層11の強磁性膜11bは、平面図である図2に示したように、長軸及び短軸を有する長方形形状を有していて、その磁化が短辺（短軸）方向に弱くピンされている。このセンス層11に対し強磁性膜11bの長辺（長軸）方向（ピンされた磁化の向きと直交する方向）内で大きさ及び向きが変化する磁場を付与すると、同センス層11（強磁性膜11b）の磁化の向きは徐々に変化（回転）し、同磁場の変化方向における同センス層11の磁化は図3に示したように変化する。即ち、センス層11の磁化（の大きさ）は、前記磁場の大きさが飽和磁界H1より大きい場合及び飽和磁界H2より小さい場合に略一定となるとともに、同磁場が飽和磁界H2～H1の範囲内の場合に同磁場の大きさに対して略線形的（略直線的）に変化するようになっている。

【0018】参照層13は、平面図である図4に示したように、強磁性膜11bと略同一の長方形形状を有していて、この参照層13に前記磁場を付与すると、同磁場の変化方向における同参照層13の磁化は図5に示したように変化する。即ち、参照層13の磁化（の大きさ）は、前記磁場の大きさが飽和磁界H3より大きい場合及

び飽和磁界H4より小さい場合に略一定となるとともに、同磁場の大きさが飽和磁界H3、H4に一致するとステップ状に変化するようになっている。この参照層13の磁化特性は、長手方向に磁化の向きが揃う強磁性膜13の形状異方性によるものである。

【0019】このようなセンス層11と参照層13とを有する磁気トンネル効果素子10の抵抗値（抵抗R）は、図6に示したように変化する。図6において、実線は前記磁場が負から正に変化する際の抵抗値変化を示し、破線は同磁場が正から負に変化する際の抵抗値変化を示している。図6から明らかなように、抵抗値は磁場に対して偶関数（磁場をX軸にとり抵抗を同X軸に直交するY軸にとると、Y軸について線対称）となっている。

【0020】そして、上記磁気トンネル効果素子10に対し、図7に示すような三角波状の交流バイアス磁界HACを強磁性膜11b及び参照層13の長辺方向に加える。この交流バイアス磁界HACは、周期4Tにて最大値Hmax（=Ha>0）と同最大値Hmaxの絶対値の符号を反転した値（=-Ha）に等しい最小値Hminとの間を直線的に変化（スイープ）する磁界である。また、この交流バイアス磁界HACの最大値Hmaxは、図6に示したように、参照層13の飽和磁界H3より大きく、センス層11の飽和磁界H1より小さいものとする。同様に、交流バイアス磁界の最小値Hminは、参照層13の飽和磁界H4より小さく、センス層11の飽和磁界H2より大きいものとする。換言すると、交流バイアス磁界HACの絶対値の最大値Halは、参照層13の飽和磁界の大きさとセンス層11の飽和磁界の大きさとの間の値とする。

【0021】このような交流バイアス磁界HACを上記磁気トンネル効果素子10に付与するとともに、同交流バイアス磁界HACと平行な方向内において検出すべき磁界hを変化させると、同素子10の抵抗Rは図8及び図9に示すように変化する。なお、図8及び図9において、一点鎖線Aは検出すべき磁界が「0」の場合、実線Bは同磁界が正の所定値の場合、及び破線Cは同磁界が負の所定値である場合の抵抗Rをそれぞれ示している。ここで、図8の円E1及び円E2により囲んだ部分に着目すると、時間経過に対して実線Bと破線Cとの順序が逆転していることが理解される。

【0022】そこで、図9に示したように、抵抗Rが所定の閾値Thを上から下へ横切った第1時点から次に同抵抗Rが同閾値Thを上から下へ横切る第2時点までの時間a（又はa1、a2）と、同第2時点から更に同抵抗Rが同閾値Thを上から下へ横切る第3時点までの時間b（又はb1、b2）とを計測し、下記数1により示される検出値Dを得る。本実施形態の磁気センサは、この検出値Dを出力とする。

【0023】

【数1】 $D = b / (a + b)$

【0024】この検出値（デューティ）Dは、検出すべき磁界h（の大きさ）に比例するとともに交流バイアス磁界HACの最大値Haに依存して変化するが、磁気トンネル効果素子10の出力特性変化には依存しない。以下、この点について説明する。

【0025】いま、図10（A）の実線で示したように、上記交流バイアス磁界HACが時刻 $t=0$ において最大値 $H_{\max}(=H_a)$ であり、検出すべき磁界hが「0」であるとき、上記磁気トンネル効果素子10に加わる磁界H(t)は、 $0 \leq t \leq 2T$ ,  $2T \leq t \leq 4T$ ,  $4T \leq t \leq 6T$ において、それぞれ下記の数2～数4により表すことができる。

【0026】

【数2】 $H(t) = -H_a \cdot t/T + H_a$

【0027】

【数3】 $H(t) = H_a \cdot t/T - 3H_a$

【0028】

【数4】 $H(t) = -H_a \cdot t/T + 5H_a$

【0029】一方、前述したように、上記磁気トンネル効果素子10の抵抗Rは付与される磁界H(t)に対して偶関数的に変化する。いま、磁界H(t)に対し偶関数的に変化する素子の抵抗Rを $f(H(t))$ とすると、下記数5が成立する。

【0030】

【数5】 $f(H(t)) = f(-H(t))$

【0031】図示の便宜上、偶関数 $f(H(t))$ を図10

（C）に示したように仮定すると、上記磁気トンネル効果素子10の抵抗Rは図10（B）に示したように変化する。このとき、磁気トンネル効果素子10の抵抗Rが閾値 $R_b$ を上から下へ横切る時刻を $T+tb_1$ ,  $3T+tb_2$ ,  $5T+tb_3$ とすると、上記数2～数4により、それぞれの時刻に対して下記数6～数8が成立する。

【0032】

【数6】 $R_b = f(H(T+tb_1)) = f(-tb_1 \cdot H_a/T)$

【0033】

【数7】 $R_b = f(H(3T+tb_2)) = f(tb_2 \cdot H_a/T)$

【0034】

【数8】 $R_b = f(H(5T+tb_3)) = f(-tb_3 \cdot H_a/T)$

【0035】上記数6～数8を、上記数5を考慮して比較すると、下記数9が得られる。

【0036】

【数9】 $tb_1 = tb_2 = tb_3$

【0037】この場合、上記時間a及び上記時間bは、それぞれ下記の数10及び数11で与えられる。

【0038】

【数10】 $a = (2T - tb_1) + tb_2$

【0039】

【数11】 $b = (2T - tb_2) + tb_3$

【0040】従って、上記数9～数11を上記数1に代入すると、下記数12が得られる。

【0041】

【数12】 $D = 50\%$

【0042】次に、磁気トンネル効果素子10に検出すべき磁界hが加わった場合について検討すると、素子に加わる磁界H(t)は、図10（A）の一点鎖線により示す通りとなり、 $0 \leq t \leq 2T$ ,  $2T \leq t \leq 4T$ ,  $4T \leq t \leq 6T$ において、それぞれ下記数13～数15により表すことができる。

【0043】

【数13】 $H(t) = -H_a \cdot t/T + H_a + h$

【0044】

【数14】 $H(t) = H_a \cdot t/T - 3H_a + h$

【0045】

【数15】 $H(t) = -H_a \cdot t/T + 5H_a + h$

【0046】そして、上記磁気トンネル効果素子10の抵抗Rが閾値 $R_b$ を上から下へ横切る時刻を $T+tb_4$ ,  $3T+tb_5$ ,  $5T+tb_6$ とすると、それぞれの時刻に対して下記数16～数18が成立する。

【0047】

【数16】 $R_b = f(H(T+tb_4)) = f((-tb_4 \cdot H_a/T) + h)$

【0048】

【数17】 $R_b = f(H(3T+tb_5)) = f((tb_5 \cdot H_a/T) + h)$

【0049】

【数18】 $R_b = f(H(5T+tb_6)) = f((-tb_6 \cdot H_a/T) + h)$

【0050】また、上記数17は上記数5から下記数19に書きかえられる。

【0051】

【数19】 $R_b = f((-tb_5 \cdot H_a/T) - h)$

【0052】従って、上記数16と上記数19との比較、及び上記数18と上記数19との比較から、それぞれ下記数20及び下記数21が得られる。

【0053】

【数20】 $(-tb_4 \cdot H_a/T) + h = (-tb_5 \cdot H_a/T) - h$

【0054】

【数21】 $(-tb_6 \cdot H_a/T) + h = (-tb_5 \cdot H_a/T) - h$

【0055】上記数20及び上記数21を変形すると、下記数22及び下記数23が得られる。

【0056】

【数22】 $tb_4 - tb_5 = 2h \cdot T/H_a$

【0057】

【数23】 $tb_6 - tb_5 = 2h \cdot T/H_a$

【0058】この場合、上記時間a(a1)及び上記時間b(b1)は、それぞれ下記数24、数25で与えられる。

【0059】

【数24】 $a = (2T - tb_4) + tb_5$

【0060】

【数25】 $b = (2T - tb_5) + tb_6$

【0061】従って、上記数22～数25を上記数1に代入すると、下記数26が得られる。

【0062】

【数 26】 $D = (1 + h/H_a)/2$

【0063】上記数 26 から明らかなように、検出値  $D$  は、検出すべき磁界  $h$  と比例関係にある。また、検出値  $D$  は、バイアス磁界の最大値  $H_a$  に依存するが、磁気トンネル効果素子 10 の温度変化や経時変化に伴う抵抗値特性（出力特性）の変化の影響を受けない。なお、検出値  $D$  は下記数 27 のように求め、これを磁気センサの出力としてもよい。また、上記時間  $a$ 、 $b$  は、磁気トンネル効果素子 10 の抵抗  $R$  が所定の閾値  $T_h$  を下から上へ横切った第 1 時点から次に同抵抗  $R$  が同閾値  $T_h$  を下から上へ横切る第 2 時点までの時間  $a$  と、同第 2 時点から更に同抵抗  $R$  が同閾値  $T_h$  を下から上へ横切る第 3 時点までの時間  $b$  としてもよい。

【0064】

【数 27】 $D = a / (a + b) (= (1 - h/H_a)/2)$

【0065】（具体的構成）次に、上述した原理に基づいて磁界  $h$  を検出する磁気センサの具体的構成について説明する。この磁気センサは、平面図である図 11 に示したように、例えば  $SiO_2/Si$ 、 $SiN/Si$ 、ガラス又は石英からなる略正方形の基板 20 と、二つの磁気トンネル効果素子（群）21、31 と、バイアス磁界用のコイル 40 と、複数の電極パッド 50a～50f とを備えている。磁気トンネル効果素子（群）21、31、及びバイアス磁界用のコイル 40 は、それぞれ電極パッド 50a、50b、50c、50d、及び 50e、50f に接続されている。磁気トンネル効果素子（群）21 と磁気トンネル効果素子（群）31 は構造上同一であるので、以下においては、磁気トンネル効果素子（群）21 を代表例として説明し、磁気トンネル効果素子（群）31 についての説明を省略する。

【0066】磁気トンネル効果素子（群）21 は、拡大平面図である図 12 に示したように、直列接続された複数の（この例では、20 個）の磁気トンネル効果素子からなっている。各磁気トンネル効果素子は、図 12 の 1-1 線に沿った平面、及び 2-2 線に沿った平面にて切断した部分断面図である図 13、及び図 14 にそれぞれ示したように、基板 20 の上に平面形状を長方形にした複数の下部電極 22 を備えている。下部電極 22 は、横方向（ $X$  軸方向）に所定の間隔を隔てて一列に配置されていて、導電性非磁性金属材料である  $Cr$ （ $Ta$ 、 $Ti$  でも良い。）により膜厚 30 nm 程度に形成されている。各下部電極 22 の上には、同下部電極 22 と同一平面形状に形成され、 $PtMn$  からなり膜厚 15 nm 程度の反強磁性膜 23 がそれぞれ積層されている。

【0067】各反強磁性膜 23 の上には、膜厚 40 nm 程度の  $NiFe$  からなる一対の強磁性膜 24、24 が間隔を隔てて積層されている。この強磁性膜 24、24 は、平面視において長方形を有し、各長辺が平行に対向されるように配置されている。この強磁性膜 24、24 は、反強磁性膜 23 により、図 13 の部分平面図であ

る図 15 の矢印方向（ $X$  軸正方向、即ち短辺方向）に磁化の向きがピンされたピン層を構成している。なお、上記検出原理において説明したように、反強磁性膜 23 と強磁性膜 24 からなる層はその機能からセンス層 11 とも称呼される。

【0068】各強磁性膜 24 の上には、同強磁性膜 24 と同一平面形状を有する絶縁層 25 が形成されている。この絶縁層 25 は、絶縁材料である  $Al_2O_3$ 、 $(Al-O)$  からなり、その膜厚は 1 nm である。

【0069】絶縁層 25 の上には、同絶縁層 25 と同一平面形状を有し、膜厚 40 nm 程度の  $NiFe$  からなる強磁性膜 26 が形成されている。この強磁性膜 26 は、その磁化の向きが外部磁界の向きに略一致するように変化するフリー層を構成し、上記原理において説明したように、その機能から参照層 13 とも称呼され、前記強磁性膜 24 からなるピン層と前記絶縁層 25 とともに磁気トンネル接合構造を形成している。このように、各一つの反強磁性膜 23、強磁性膜 24、絶縁層 25、及び強磁性膜 26 により、一つの磁気トンネル効果素子（電極等を除く）が構成される。

【0070】各強磁性膜 26 の上には、同各強磁性膜 26 と同一平面形状のダミー膜 27 がそれぞれ形成されている。このダミー膜 27 は、膜厚 40 nm 程度の  $Ta$  膜からなる導電性非磁性金属材料により構成されている。

【0071】基板 20、下部電極 22、反強磁性膜 23、強磁性膜 24、絶縁層 25、強磁性膜 26、及びダミー膜 27 を覆う領域には、複数の下部電極 22 及び反強磁性膜 23 をそれぞれ絶縁分離するとともに、各反強磁性膜 23 上に設けた一対の強磁性膜 24、絶縁層 25、強磁性膜 26 及びダミー膜 27 をそれぞれ絶縁分離するための層間絶縁層 28 が設けられている。層間絶縁層 28 は  $SiO_2$  からなり、その膜厚は 250 nm 程度である。

【0072】この層間絶縁層 28 には、各ダミー膜 27 上にてコンタクトホール 28a がそれぞれ形成されている。このコンタクトホール 28a を埋設するとともに、異なる下部電極 22（及び反強磁性膜 23）上に設けた一対のダミー膜 27、27 の各一方間を互いに電気的に接続するように、例えば膜厚 300 nm の  $Al$  からなる上部電極 29、29 がそれぞれ形成されている。このように、下部電極 22 及び反強磁性膜 23 と、上部電極 29 とにより、隣り合う一対の各強磁性膜 26、26（各ダミー膜 27、27）と各反強磁性膜 23、23 とをそれぞれ交互に順次電気的に接続することで、センス層のピンされた磁化の向きが同一であって、且つ、複数の磁気トンネル接合構造を 20 個だけ直列に接続した磁気トンネル効果素子（群）21 が形成されている。なお、上部電極 29、29 の上には図示を省略した  $SiO$  及び  $SiN$  からなる保護膜が形成されている。

【0073】コイル 40 は、上記磁気トンネル効果素子

(群) 21に対し、強磁性膜24のピンされた磁化の向きと直交する方向(センス層及び参照層の長辺(長軸)方向)において変化する上記交流バイアス磁界HACを付与するためのものであって、磁気トンネル効果素子

(群) 21の下方を強磁性膜24のピンされた磁化の向きと平行な方向に延びるように、基板20に埋設されている。

【0074】(製造方法)次に、上記磁気トンネル効果素子21の製造方法について説明すると、まず、図16に示したように、Siからなる基板20aの上にAlからなる膜を膜厚1 $\mu$ m程度にスパッタリングにより形成する。次いで、このAl膜を図17に示したように巾1 $\mu$ mとなるように加工する。この加工により、図11の破線にて示したように、コイル40が所定の配線形状となるようにパターンニングされる。次に、図18に示したように、SiN/SiO<sub>2</sub>からなる膜20bを成膜して、その上面を平坦に加工する。これにより、基板20が形成される。

【0075】次いで、図19に示したように、基板20の上に下部電極22を構成するCrからなる膜を膜厚30nm程度にスパッタリングにより形成し、次いでセンス層の反強磁性膜23及び強磁性膜24を構成するためのPtMnからなる膜及びNiFeからなる膜を、それぞれ膜厚が15nm及び40nmとなるようにスパッタリングにより形成する。その後、Alを1nmだけ積層し、酸素ガスによってこれを酸化させて絶縁層25となるAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(Al-O)の膜を形成する。次いで、参照層の強磁性膜26を構成するNiFeからなる膜を膜厚が40nmとなるように形成し、その上にダミー膜27を構成するTaからなる膜を膜厚が40nmとなるように形成する。

【0076】次に、図20に示したように、基板20上に形成された膜を加工し、下部電極22、反強磁性膜23、強磁性膜24、絶縁層25、強磁性膜26、及びダミー膜27を形成する。この段階で、磁場を加えながら高温下に放置する高温アニール処理を行い、PtMnからなる反強磁性膜23を規則合金化するとともに交換結合磁界Hexを発生させる。この結果、強磁性膜24の磁化の向きがコイル40の軸線方向(コイル40が発生するバイアス磁界の向きと直交する方向)にピンされる。

【0077】次いで、図21に示したように、層間絶縁層28を構成するSiO<sub>2</sub>からなる膜を膜厚が250nmとなるようにスパッタリングによって形成し、図22に示したように、コンタクトホール28aを層間絶縁層28に形成する。その後、図13に示したようにAl膜をその膜厚が300nmとなるようにスパッタリングにより形成し、これを配線形状に加工して上部電極29を形成する。そして、基板20の上に図11に示した電極パッド50a~50fを形成して、同電極パッド50a

~50fを磁気トンネル効果素子(群)21、31、及びコイル40とそれぞれ接続する。最後に、CVDにより150nmの膜厚を有するSiO<sub>2</sub>からなる膜(図示省略)、及び1000nmの膜厚を有するSiNからなる膜(図示省略)を保護膜として形成する。

【0078】(特性)このように製造された磁気トンネル効果素子(群)21のPtMnからなる反強磁性膜23の膜厚は15nmであり、従来の磁気トンネル効果素子のPtMnからなる反強磁性膜23の膜厚は30nm以上である。従って、図23に示したように、PtMn膜の膜厚とセンス層のピンの強さを示す(強磁性膜24のピンされた磁化の大きさを示す)交換結合磁界Hexは、通常の磁気トンネル効果素子の交換結合磁界Hex0に比べて非常に小さい磁界Hex1となる。換言すると、本実施形態の磁気トンネル効果素子21、31の交換結合磁界Hexは、反強磁性膜23の膜厚の増大に伴って大きく変化する領域のものであり、この反強磁性膜23の膜厚は20nm以下が好適である。以上により、磁気トンネル効果素子(群)21のセンス層11は、図3にて示した形状の磁化曲線を呈する。

【0079】図24は、上記磁気トンネル効果素子(群)21に対し、強磁性膜24(センス層)のピンされた磁化の向きに直行する方向内で向き及び大きさが変化する磁場Hを付与し、そのときの同素子21の抵抗Rの変化を降下電圧として測定した結果を示している。図24から、磁気トンネル効果素子(群)21の抵抗値は、磁場Hに対し偶関数となっていることが確認された。

【0080】(磁場の具体的検出方法)次に、上記のように構成された磁気センサによる磁場(磁界)の具体的検出方法について説明すると、上記原理において説明したように、図7に示した三角波の交流バイアス磁界を形成するための電圧を図11に示したパッド51e、51f間に与える。そして、各磁気トンネル効果素子(群)21、31に接続されたパッド50a、50b、パッド50c、50dを用いて各素子(群)21、31に一定電流を流して同各素子21、31の抵抗Rを示す各降下電圧をモニタするとともに、上記数1にて示した検出値Dを図示しないIC回路により測定し、この検出値Dに基いて磁界hを検出する。

【0081】(測定結果)図25は、上記のように構成された磁気センサによって得られた検出値Dと、検出すべき磁界hの関係を示している。図25から明らかなように、検出値Dは検出すべき磁界hに比例するように変化している。

【0082】下記表1は、このように構成された磁気トンネル効果素子(群)21に対して、1(Oe)の磁界hを与えるとともに同素子の温度を変更したときの素子の感度、素子の平均抵抗値(平均降下電圧、即ち、平均出力電圧)、及び実際の検出値Dを示している。表1か



らも理解されるように、上記磁気トンネル効果素子（群）21は、素子温度の変化とともに感度及び抵抗値が変化するが、検出値Dは上記原理において説明したとおり一定値であることが確認された。なお、感度は、図24における直線AVEにて示す素子の平均出力電圧を同 \*

素子の温度 (°C)	平均抵抗値 (Ω)	感度 (%/0e)	検出値D
25	5900	0.80	0.566
80	5664	0.66	0.566
150	5428	0.56	0.566

【0084】以上、説明したように、上記実施形態によれば、磁気トンネル効果素子（群）21、31の素子温度変化や経時変化により同素子（群）21、31の出力特性が変化した場合であっても、これを補償し、極めて微小な磁場を精度良く検出し得る磁気センサを得ることができた。

【0085】なお、本発明は上記実施形態に限定されることはなく、本発明の範囲内において種々の変形例を採用することができる。例えば、上記実施形態においては、強磁性膜24の磁化をピンするために反強磁性膜23の材料としてPtMnを使用していたが、同様な機能を果たす他の材料（例えばMnRh等）であってもよい。

【0086】また、上記実施形態の膜構成は、基板/Cr(30nm)/PtMn(15nm)/NiFe(40nm)/Al-O/NiFe(40nm)/Ta(40nm)であり、基板から順にセンス層11、絶縁層12、参照層13を積層させていたが、基板/Cr(30nm)/NiFe(40nm)/Al-O/NiFe(40nm)/PtMn(20nm)/Ta(40nm)として基板に接触させる層として参照層13を形成し、その上に絶縁層12、及びセンス層11を積層させてもよい。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明による磁気センサが使用する磁気トンネル効果素子の概略断面図である。

【図2】 図1に示したセンス層の平面図である。

【図3】 図1に示したセンス層の磁化曲線を示すグラフである。

【図4】 図1に示した参照層の平面図である。

【図5】 図1に示した参照層の磁化曲線を示すグラフである。

【図6】 図1に示した磁気トンネル効果素子のMR曲線（磁場に対する抵抗の変化）を示すグラフである。

【図7】 図1に示した磁気トンネル効果素子に加える交流バイアス磁界を示すグラフである。

【図8】 図1に示した磁気トンネル効果素子に図7に示した交流バイアス磁界を付与し、検出すべき外部磁界を変化させた場合の同素子の抵抗の変化を示すグラフである。

【図9】 図1に示した磁気トンネル効果素子に図7に

\* 素子の出力が下方から上方へと横切るときの磁場に対する出力電圧の傾きとして定義される。

【0083】

【表1】

10 示した交流バイアス磁界を印加し、検出すべき外部磁界を変化させた場合の同素子の抵抗の変化を示すグラフである。

【図10】 (A)は図1に示した磁気トンネル効果素子に付与する交流バイアス磁界、(B)は同磁気トンネル効果素子の抵抗、(C)は同磁気トンネル効果素子の磁界に対する抵抗変化（出力特性）を概念的に示すグラフである。

【図11】 本発明による磁気センサの一実施形態の平面図である。

20 【図12】 図11に示した磁気トンネル効果素子（群）の拡大平面図である。

【図13】 図12に示した磁気トンネル効果素子（群）を図12の1-1線に沿った平面で切断した断面図である。

【図14】 図12に示した磁気トンネル効果素子（群）を図12の2-2線に沿った平面で切断した断面図である。

【図15】 図13に示した磁気トンネル効果素子のセンス層である強磁性膜と反強磁性膜の概略平面図である。

【図16】 製造途中にある磁気センサの概略断面図である。

【図17】 製造途中にある磁気センサの概略断面図である。

【図18】 製造途中にある磁気センサの概略断面図である。

【図19】 製造途中にある磁気センサの概略断面図である。

【図20】 製造途中にある磁気センサの概略断面図である。

【図21】 製造途中にある磁気センサの概略断面図である。

【図22】 製造途中にある磁気センサの概略断面図である。

【図23】 図11に示した磁気トンネル効果素子のPtMn膜の厚さに対する交換結合磁界の変化を示すグラフである。

【図24】 図11に示した磁気トンネル効果素子のMR曲線（磁場に対する降下電圧の変化）を示すグラフである。

13

【図25】 図11に示した磁気トンネル効果素子の検出すべき磁界に対する検出値の変化を示すグラフである。

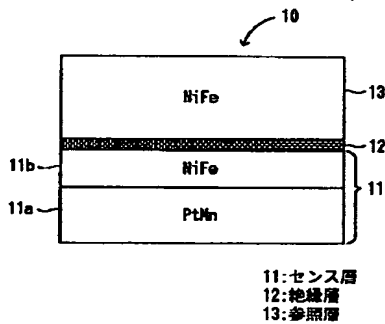
【符号の説明】

10…磁気トンネル効果素子、11a…反強磁性膜、11b…強磁性膜（ピン層）、11…センス層、12…\*

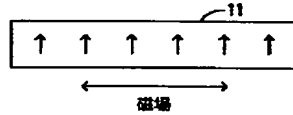
14

\*絶縁層、13…参照層（フリー層）、20…基板、21、31…磁気トンネル効果素子、22…下部電極、23…反強磁性膜、24…強磁性膜、25…絶縁層、26…強磁性膜、27…ダミー膜、28…層間絶縁層、29…上部電極、40…コイル、50a～50f…電極パッド。

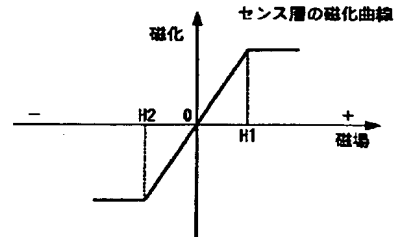
【図1】



【図2】

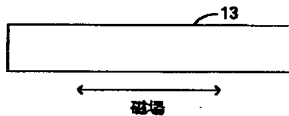


【図3】

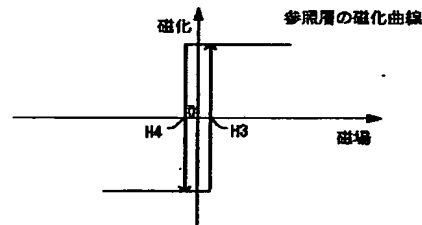


【図6】

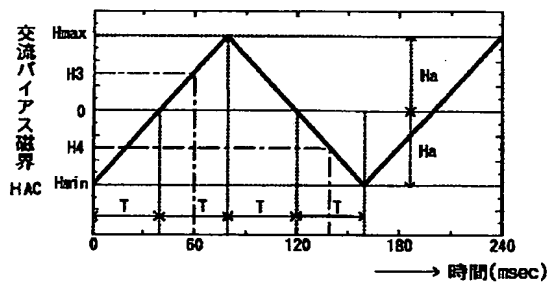
【図4】



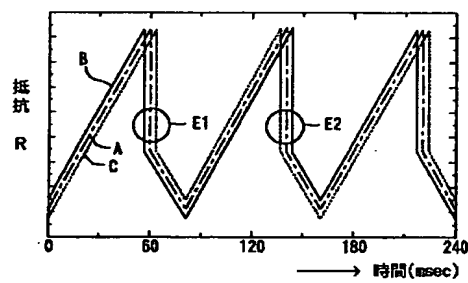
【図5】



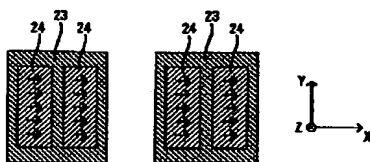
【図7】



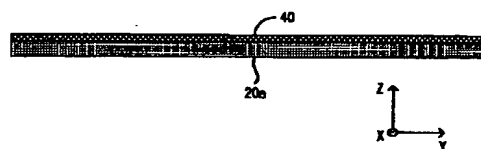
【図8】



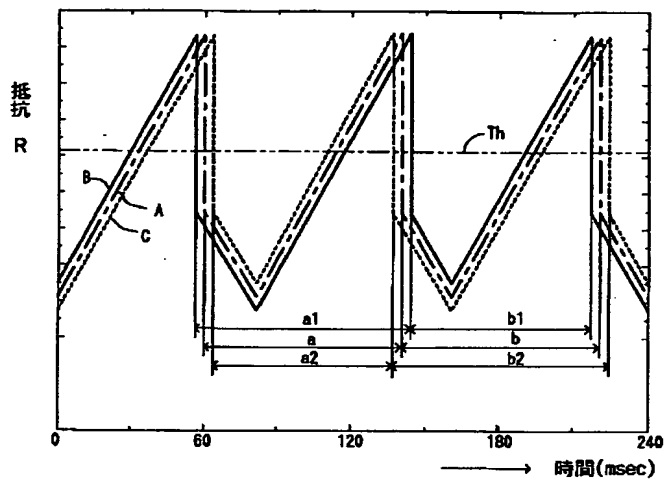
【図15】



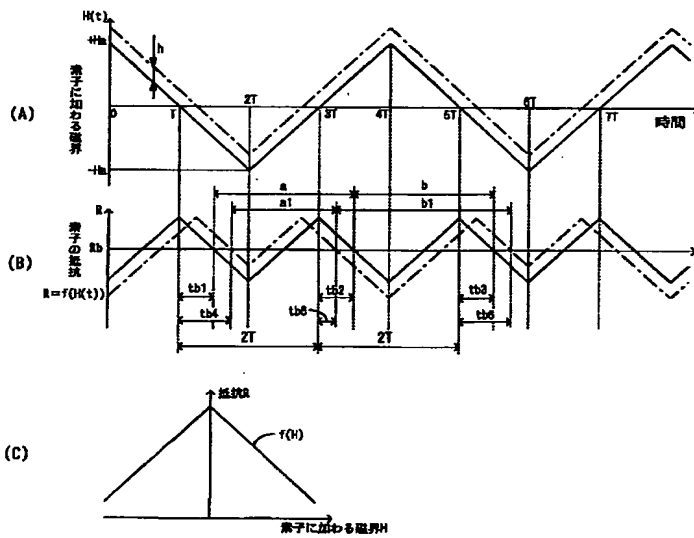
【図16】



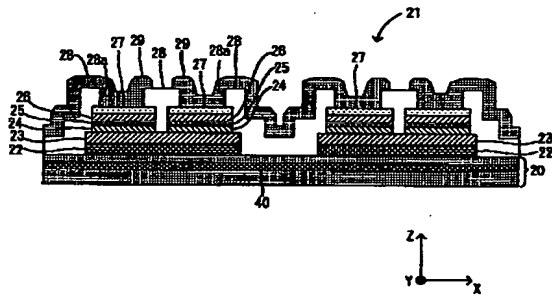
【図9】



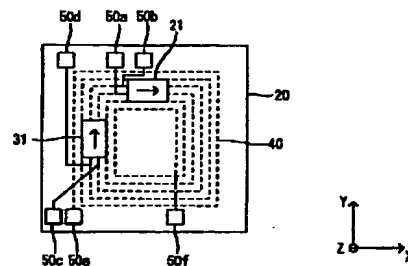
【図10】



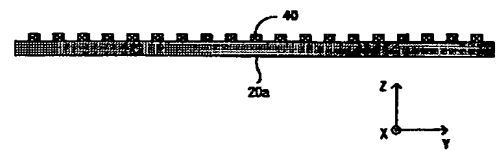
【図13】



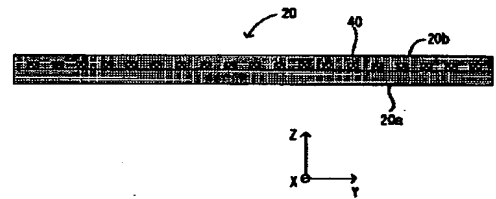
【図11】



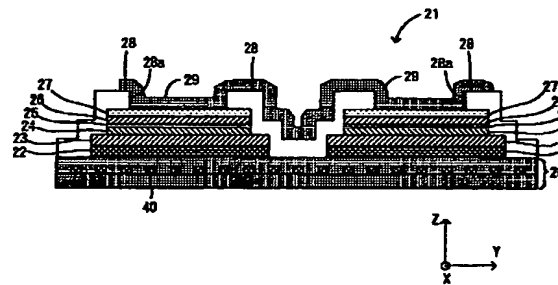
【図17】



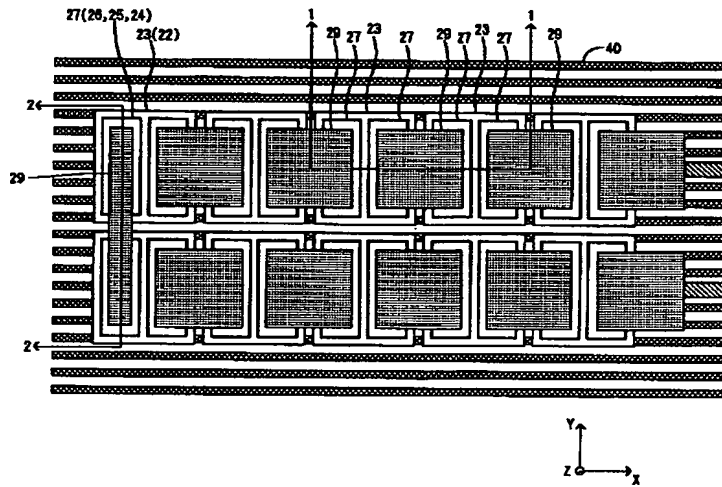
【図18】



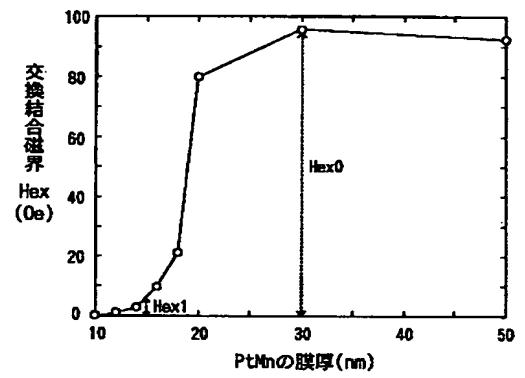
【図14】



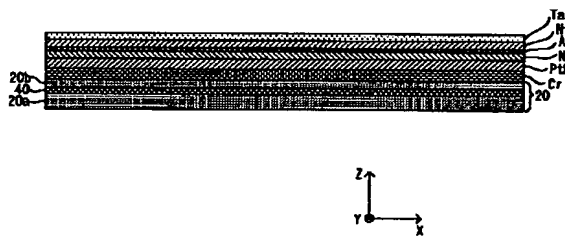
【図12】



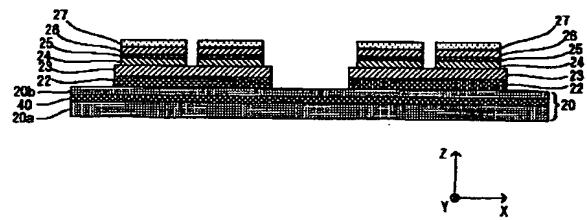
【図23】



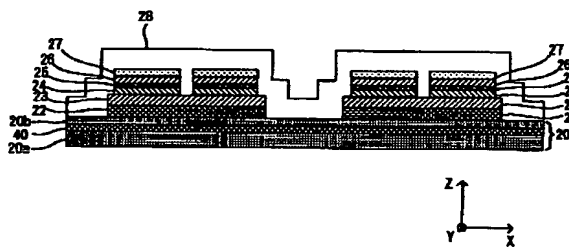
【図19】



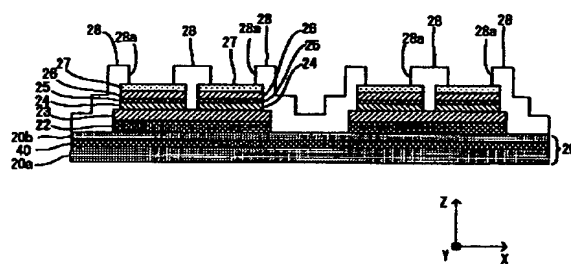
【図20】



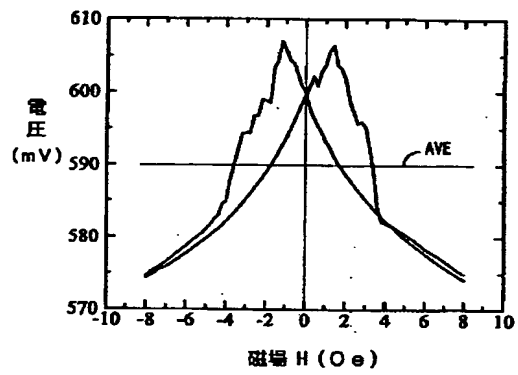
【図21】



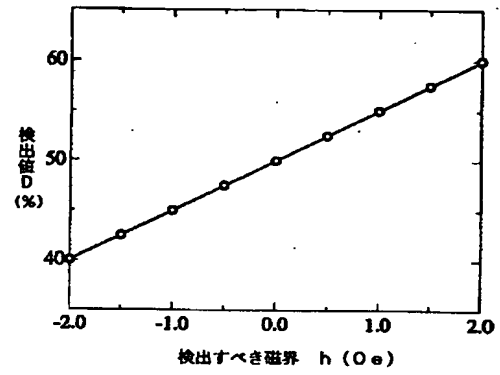
【図22】



【図24】



【図25】



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**